



Atty. Dkt. No. 040373-0363

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Applicant: Kenji SATO
Title: LIGHT DISPERSION FILTER AND OPTICAL MODULE
Appl. No.: 10/539,290
International Filing Date: 12/15/2003
371(c) Date: 06/16/2005
Examiner: Arnel C. Lavarias
Art Unit: 2872
Confirmation Number: 2470

CLAIM FOR CONVENTION PRIORITY

Commissioner for Patents
P.O. Box 1450
Alexandria, VA 22313-1450

Sir:

The benefit of the filing date of the following prior foreign application filed in the following foreign country is hereby requested, and the right of priority provided in 35 U.S.C. § 119 is hereby claimed.

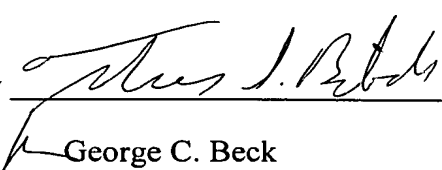
In support of this claim, filed herewith is a certified copy of said original foreign application:

Japanese Patent Application No. 2002-365101
filed 12/17/2002.

Respectfully submitted,

Date: January 13, 2009

FOLEY & LARDNER LLP
Customer Number: 22428
Telephone: (202) 945-6014
Facsimile: (202) 672-5399

By  *Reg. No. 38,072*
George C. Beck
Attorney for Applicant
Registration No. 38,072

日本国特許庁
JAPAN PATENT OFFICE



別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されて
いる事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed
with this Office.

出願年月日 2002年12月17日
Date of Application:

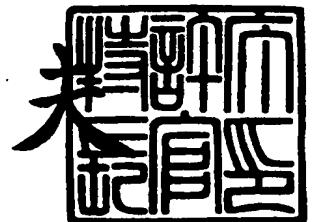
出願番号 特願2002-365101
Application Number:
[ST. 10/C]: [JP 2002-365101]

出願人 日本電気株式会社
Applicant(s):

2003年 7月28日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今井 康



提出日 平成14年12月17日

整理番号=33409935 ✓

特願2002-365101 ✓

頁: 1/ 2

【書類名】 特許願

【整理番号】 33409935

【提出日】 平成14年12月17日

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 G02B 5/28

【発明者】

【住所又は居所】 東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内

【氏名】 佐藤 健二

【特許出願人】

【識別番号】 000004237

【氏名又は名称】 日本電気株式会社

【代理人】

【識別番号】 100088328

【弁理士】

【氏名又は名称】 金田 暢之

【電話番号】 03-3585-1882

【選任した代理人】

【識別番号】 100106297

【弁理士】

【氏名又は名称】 伊藤 克博

【選任した代理人】

【識別番号】 100106138

【弁理士】

【氏名又は名称】 石橋 政幸

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 089681

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

提出日 平成14年12月17日

整理番号= 33409935

特願2002-365101

頁: 2/ 2

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9710078

【ブルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 光分散フィルタ及び光モジュール

【特許請求の範囲】

【請求項1】 入射された光信号に所望の分散を与える光分散フィルタであって、

屈折率と厚さの積の値がそれぞれ等しい、光が透過する3つ以上の光透過層と

、
前記光透過層と交互に配置される、所定の反射率を持つ複数の部分反射層と、
を有する光分散フィルタ。

【請求項2】 入射された光信号に所望の分散を与える光分散フィルタであって、

屈折率と厚さの積の値がそれぞれ等しい、光が透過する光透過層と、

該光透過層の2つの面にそれぞれ接合された、所定の反射率を持つ部分反射層と、

を備えた複数のエタロン共振器を有し、

前記エタロン共振器は、

空気の屈折率と該エタロン共振器の間隔の積の値が、前記光透過層の屈折率と厚さの積の値と等しくなるように直列に配置された光分散フィルタ。

【請求項3】 前記光分散フィルタの厚さ方向における中央近傍に配置される部分反射層の反射率が最も高く、前記光分散フィルタの両端面に向かって各部分反射層の反射率が漸次低くなる請求項1または2記載の光分散フィルタ。

【請求項4】 光の出射面との距離と該出射面との間の媒質の屈折率の積の値が、前記光透過層の屈折率と厚さの積の $1/2$ の値となる位置に設置される、光を全反射させる反射鏡を有する請求項3記載の光分散フィルタ。

【請求項5】 前記部分反射層の反射率が、前記光分散フィルタに対する光の入射面側から該入射面と反対側の最終端面に向かって漸次高くなる請求項1または2記載の光分散フィルタ。

【請求項6】 前記光透過層は、誘電体基板であり、
前記部分反射層は、薄膜または複数の薄膜を積層した多層膜のいずれか一方で

ある請求項1乃至5のいずれか1項記載の光分散フィルタ。

【請求項7】 前記光透過層は、半導体基板であり、

該半導体基板に、入射された光信号を増幅する光増幅手段を有する請求項1乃至6のいずれか1項記載の光分散フィルタ。

【請求項8】 前記光透過層と前記部分反射層とが、

前記光透過層と同一の屈折率を備えた接着剤によって接合された請求項1乃至7のいずれか1項記載の光分散フィルタ。

【請求項9】 光通信で用いられる光能動素子と、

光信号の伝送媒体である光ファイバと、

前記光能動素子と前記光ファイバとを結ぶ光軸上に配置される、前記光ファイバで受ける分散を補償するための透過型の光分散フィルタと、
を有する光モジュール。

【請求項10】 光通信で用いられる光能動素子と、

光信号の伝送媒体である光ファイバを着脱可能に固定する光コネクタと、

前記光能動素子と前記光ファイバとを結ぶ光軸上に配置される、前記光ファイバで受ける分散を補償するための透過型の光分散フィルタと、
を有する光モジュール。

【請求項11】 光信号の伝送媒体である光ファイバと、

前記光ファイバで受ける分散を補償するための反射型の光分散フィルタと、

前記光ファイバと前記光分散フィルタとを結ぶ光軸を避けた位置に配置される

、
光通信で用いられる光能動素子と、
を有する光モジュール。

【請求項12】 光信号の伝送媒体である光ファイバを着脱可能に固定する光コネクタと、

前記光ファイバで受ける分散を補償するための反射型の光分散フィルタと、

前記光ファイバと前記光分散フィルタとを結ぶ光軸を避けた位置に配置される

、
光通信で用いられる光能動素子と、

を有する光モジュール。

【請求項13】 前記光ファイバと前記光分散フィルタとを結ぶ光軸上に位置し、かつ反射光の光軸上に前記光能動素子が位置するハーフミラーを有する請求項11または12記載の光モジュール。

【請求項14】 前記光能動素子の温度を制御するための第1の温度制御装置と、

前記光分散フィルタの温度を制御するための第2の温度制御装置と、
を有する請求項9乃至13のいずれか1項記載の光モジュール。

【請求項15】 前記光能動素子は、光信号を出射する光源である請求項9乃至14のいずれか1項記載の光モジュール。

【請求項16】 前記光能動素子は、光信号を受光する受光素子である請求項9乃至14のいずれか1項記載の光モジュール。

【請求項17】 光信号を分割する光分波器と、
前記光分波器で分波された一方の光信号が通過する光分散フィルタと、
前記光分散フィルタを通過した光信号に対応した電気信号を出力する第1の光受信器と、

前記光分波器で分波された他方の光信号に対応した電気信号を出力する第2の光受信器と、

前記第1の光受信器及び第2の光受信器から出力される信号の差を出力する信号差分回路と、

を有する光分散測定器。

【請求項18】 所定の周波数間隔に設定された複数の通信チャネルの光信号が通過する、該周波数間隔よりもFSRが広く設定された光分散フィルタを有する通信チャネル抽出装置。

【請求項19】 前記光分散フィルタの温度を制御するための温度制御装置を有する請求項18記載の通信チャネル抽出装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、光波長に依存して群遅延量が変わる特性を備えた、入射光に所望の分散特性を与えるための光分散フィルタに関する。

【0002】

【従来の技術】

光ファイバを用いて光信号を伝送する光通信システムでは、光信号が光ファイバ内で分散するために信号波形が乱れ、伝送距離が制限されることが知られている。分散は、光ファイバ中における波長毎の屈折率の違いにより信号の到達時間に差が生じる現象である。光信号は、通常、所定のスペクトル幅を有するため、伝送距離が長いと分散により信号波形が時間軸上で広がり、受信側で正しい情報を受け取ることができなくなる。

【0003】

基幹系ネットワークやアクセス系ネットワーク等においては、一般に光ファイバ内の損失が最小となる1.55 μm 帯の光源が用いられる。この波長帯の光信号が光ファイバ内で受ける分散値は約17 ps/nm/kmである。そこで、1.55 μm 波長帯の光信号に対して分散値が最小となるように光ファイバの分散特性をシフトさせれば光伝送時における分散の影響を軽減できる。この分散特性を所定の波長帯からシフトさせた光ファイバを分散シフトファイバ (dispersion shift fiber : DSF) と呼ぶ。

【0004】

しなしながら、分散シフトファイバは、通常の光ファイバと比較して断面方向の屈折率分布が複雑になるため、光ファイバ設置時の引き回しによるコアの歪みがそのまま分散特性に影響し、長さ方向で分散値が変動する。また、周囲温度の変化による分散値の変動も大きい。そのため、分散シフトファイバを用いた従来の光通信システムでは、伝送路全体において詳細な分散設計が行われ、その設計結果に基づいて製造される分散シフトファイバのコストアップが伝送路の長距離化や大容量化の障害となっていた。

【0005】

一般に、光ファイバ内においては光信号の伝送速度の二乗と分散値の積とが一定となる。したがって、光信号がスペクトル幅を有していると伝送距離は速度の

二乗に反比例して短くなる。

【0006】

例えば、光源として直接変調型の半導体レーザを用いる場合、光源の波長変動が大きいために分散の影響が大きくなる。一方、光源として外部変調型の半導体レーザを用いる場合は、マッハツェンダー型から成る外部変調器を調整することで波長変動を抑制できるため、10～40Gb/sの伝送速度を実現できるが、分散の影響を除去できるものではない。

【0007】

したがって、従来の光通信システムでは、光源側または受光側に、光ファイバ内で光信号が受ける分散と逆の分散を与える分散補償器を設けることで、分散による影響を低減して伝送距離を拡大する手法が一般的に採用されている。

【0008】

このような分散補償器を設ける例として、送信部（光源側）に分散補償器を備えた構成が特許文献1に開示されている。また、具体的な分散補償器の構成として、特許文献2及び特許文献3にファイバリング共振器型の分散補償器が記載されている。さらに、特許文献4に記載されたファイバグレーティング共振器型の分散補償器や特許文献5に記載された多重反射遅延板型の分散補償器等も知られている。

【0009】

これらの分散補償器は分散を補償するために大規模な構成を採用しているため、光通信システムのコストが上昇する問題がある。但し、これらの分散補償器は大きな分散量（例えば3000ps/nm）の補償が可能であるため、長距離伝送用の光通信システムに用いて好適である。

【0010】

一方、分散補償器を小型化する試みとして、例えば特許文献6にエタロン共振器を利用した分散補償器（以下、エタロン型分散補償器と称す）が記載されている。以下、このエタロン型分散補償器について簡単に説明する。

【0011】

エタロン共振器は、反射型共振器を形成するように、2つの部分透過ミラー（

部分反射層)を所定の間隔で配置した構成であり、光の透過特性にFSR(フリースペクトラルレンジ)と呼ばれる所定の周波数間隔毎にピークが発生する。FSRは、上記部分透過ミラーの配置間隔で決まる周波数であり、例えばガラスのように屈折率が1.5の光透過層を部分透過ミラーで挟んだ構成では、1ミリメートルの間隔のときに約100GHzとなる。

【0012】

エタロン共振器に入射された光は、部分透過ミラーの両端面で反射を繰り返しながら透過する。このとき、透過成分の多い波長光と少ない波長光が観測されるが、どの波長光に対しても端面で反射する割合が等しいことを考慮すると、透過成分の多い波長光は、より多く往復することで遅れながら透過すると考えられる。したがって、透過特性が波長に依存することは波長によって遅延量に差が生じることを意味する。エタロン共振器は、この遅延量が波長に応じて大きく変化するために大きな分散特性を備えた光分散フィルタとして用いることができる。この分散特性のうち、光ファイバの分散特性と逆の特性部分を利用して光ファイバに入力する光信号あるいは光ファイバから出力された光信号に分散を与えれば、光ファイバから受ける分散の影響を低減できる。

【0013】

なお、エタロン型分散補償器には、一方の端面で光を全反射する反射型の構成も知られている。一方の端面を全反射にすると、元々その端面を透過すべき光も再度エタロン内を通過して入射側へ戻るため、入射した光が損失なく入射側と同一面から出射される。このとき出射光が受ける分散量は元々反射される光の分散量と元々端面で透過すべき光の分散量の和となる。

【0014】

エタロン型分散補償器は、所定の周波数間隔(FSR)毎に得られる透過特性がほぼ等しいため、光波長多重(Wavelength Division Multiplexing: WDM)システムのように多チャンネルの光信号を同時に分散補償する分散補償器として用いることができる。

【0015】

しかしながら、従来のエタロン型分散補償器では、分散補償量が 20 ps/n

m程度しか実現できず、光分散フィルタの透過率が100%よりも小さいために光パワーの損失が大きくなる。

【0016】

一方、複数の共振器型フィルタを用いて分散補償量を増大させ、かつ広帯域化させる試みが特許文献7に記載されている。特許文献7には、所定の分散特性を有する誘電体多層膜から成る共振器フィルタを3層に重ねることで分散特性が改善されることが記載されている。

【0017】

しかしながら、特許文献7に記載された構成では、分散を補償しつつ光パワーを100%取り出すために光の入射面と出射面とが同一である反射型の構成を採用しているため、入射光または出射光の光路を変更するための素子（サーキュレータ）が必要となり、分散補償器を有する光源側あるいは受信側の装置構成が大きくなるため、小型化に向いていない。さらに所定の帯域内における分散だけを補償する構成であるため、特許文献6に記載されたエタロン型分散補償器のように多チャンネル用途に向いていない。

【0018】

そこで、特許文献7に記載された構成を多チャンネル用途にした例が、非特許文献1に記載されている。しかしながら、非特許文献1に記載された構成は、特許文献7と同様に光の入射面と出射面とが同一の反射型であるため、サーキュレータ等が必要となり小型化に向かない。さらに、分散量の可変機構があるために部品点数が多くなり、構成が複雑になってしまう。なお、非特許文献1と同様の構成で、サーキュレータを用いない構成例が特許文献8に記載されているが、非特許文献1と同様の問題を有し、光学系を含めた光通信システムの規模が大きくなる。

【0019】

【特許文献1】

特開平10-242910号公報

【特許文献2】

特開平5-181028号公報、

【特許文献3】

特開平5-323391号公報

【特許文献4】

特開2000-252920号公報

【特許文献5】

特表2000-511655号公報

【特許文献6】

特開平6-160604号公報

【特許文献7】

特開2000-105313号公報

【特許文献8】

米国特許出願公開第20010021053号

【非特許文献1】

Moss, Optical Fiber Conference, 2002年学会予稿集、TuT2
、133頁、図1

【0020】

【発明が解決しようとする課題】

第1の問題点は、従来の分散補償器を光源側あるいは受信側に設けた光通信システムではシステム構成が大規模になることである。

【0021】

その理由は、分散補償とは波長成分に対応した遅延回路を作ることであるため、大きな分散補償量を実現するためには光信号を遅延させるための光パスを十分に長くする必要があるからである。

【0022】

第2の問題点は、従来の分散補償器では光パワーを無駄に損失することである。

【0023】

その理由は、光ファイバから光信号を取り出して分散補償を行い、再び光ファイバ内に光信号を戻すため、光結合損が発生するからである。

【0024】

第3の問題点は、従来のエタロン型の光分散フィルタでは、分散補償量が小さいことである。

【0025】

その理由は、従来のエタロン型の分散補償器は、光を遅延させるパスが短いために分散補償量を大きくすることができないからである。

【0026】

第4の問題点は、反射型の分散補償器を備えた光通信システムでは、光学系が複雑になるためシステム規模が大きくなることである。

【0027】

その理由は、反射型の分散補償器は光の入射面と出射面とが同一のため、光の経路を切り替える部品が必要となるからである。

【0028】

本発明は上記したような従来の技術が有する問題点を解決するためになされたものであり、小型化、低消費電力化、低コスト化を実現しつつ、伝送路の長距離化を実現する分散補償器となる光分散フィルタを提供することを目的とする。

【0029】

また、本発明の他の目的は、光通信に限らず、光分散計測器等の関連技術で広範囲に適用できる光分散フィルタを提供することにある。

【0030】

【課題を解決するための手段】

上記目的を達成するため本発明の光分散フィルタは、入射された光信号に所望の分散を与える光分散フィルタであって、

屈折率と厚さの積の値がそれぞれ等しい、光が透過する3つ以上の光透過層と

、

前記光透過層と交互に配置される、所定の反射率を持つ複数の部分反射層と、を有する構成である。

【0031】

または、入射された光信号に所望の分散を与える光分散フィルタであって、

屈折率と厚さの積の値がそれぞれ等しい、光が透過する光透過層と、
該光透過層の2つの面にそれぞれ接合された、所定の反射率を持つ部分反射層
と、
を備えた複数のエタロン共振器を有し、
前記エタロン共振器は、

空気の屈折率と該エタロン共振器の間隔の積の値が、前記光透過層の屈折率と
厚さの積の値と等しくなるように直列に配置された構成である。

【0032】

このとき、前記光分散フィルタの厚さ方向における中央近傍に配置される部分
反射層の反射率が最も高く、前記光分散フィルタの両端面に向かって各部分反射
層の反射率が漸次低くなる構成でもよく、

前記部分反射層の反射率が、前記光分散フィルタに対する光の入射面側から該
入射面と反対側の最終端面に向かって漸次高くなる構成であってもよい。

【0033】

一方、本発明の光モジュールは、光通信で用いられる光能動素子と、
光信号の伝送媒体である光ファイバと、

前記光能動素子と前記光ファイバとを結ぶ光軸上に配置される、前記光ファイ
バで受ける分散を補償するための透過型の光分散フィルタと、
を有する構成である。

【0034】

または、光通信で用いられる光能動素子と、

光信号の伝送媒体である光ファイバを着脱可能に固定する光コネクタと、

前記光能動素子と前記光ファイバとを結ぶ光軸上に配置される、前記光ファイ
バで受ける分散を補償するための透過型の光分散フィルタと、
を有する構成である。

【0035】

または、光信号の伝送媒体である光ファイバと、

前記光ファイバで受ける分散を補償するための反射型の光分散フィルタと、

前記光ファイバと前記光分散フィルタとを結ぶ光軸を避けた位置に配置される

、
光通信で用いられる光能動素子と、
を有する構成である。

【0036】

または、光信号の伝送媒体である光ファイバを着脱可能に固定する光コネクタと、

前記光ファイバで受ける分散を補償するための反射型の光分散フィルタと、
前記光ファイバと前記光分散フィルタとを結ぶ光軸を避けた位置に配置される、
光通信で用いられる光能動素子と、
を有する構成である。

【0037】

ここで、前記光能動素子の温度を制御するための第1の温度制御装置と、
前記光分散フィルタの温度を制御するための第2の温度制御装置と、
を有してもよい。

【0038】

(作用)

上記のような光分散フィルタでは、屈折率と厚さの積の値がそれぞれ等しい、
光が透過する3つ以上の光透過層と、光透過層と交互に配置される、所定の反射率を持つ複数の部分反射層とを有する構成、または屈折率と厚さの積の値がそれぞれ等しい、光が透過する光透過層と、該光透過層の2つの面にそれぞれ接合された、所定の反射率を持つ部分反射層とを備えた複数のエタロン共振器を有し、該エタロン共振器を、空気の屈折率と該エタロン共振器の間隔の積の値が、光透過層の屈折率と厚さの積の値と等しくなるように直列に配置した構成とすることで、実効的な光学パスを長くすることができるため、波長による透過時間差(分散)を大きくすることができる。

【0039】

一方、本発明の光モジュールは、光能動素子と光ファイバとを結ぶ光軸上に配置される、光ファイバで受ける分散を補償するための上記透過型の光分散フィルタを有する構成、または光ファイバで受ける分散を補償するための上記反射型の

光分散フィルタと、光ファイバと光分散フィルタとを結ぶ光軸を避けた位置に配置される、光通信で用いられる光能動素子とを有する構成にすることで、光信号の送信側、または受信側で光信号に光分散フィルタを用いて所望の分散特性を与えることができるため、光モジュールの外部に大規模な分散補償器を設けることなく、光ファイバを用いた光通信システムの伝送距離が拡大できる。

【0040】

【発明の実施の形態】

次に本発明について図面を参照して説明する。

【0041】

まず、本発明の分散補償器や光モジュール等で用いる光分散フィルタについて説明する。

【0042】

上述したエタロン共振器はF S R間隔毎に等しい透過特性を有する光分散フィルタとなる。エタロン共振器内では、入射した光が部分反射層間を多数回往復した後透過するため、小型ながらも実効的な光学パスが長くなり、波長による透過時間差（分散）を大きくすることができる。従来の分散補償器のように一つのエタロン共振器を用いても分散を補償できるが、本発明者の計算によれば、 $F S R = 100 \text{ GHz}$ 内における動作帯域 20 GHz で、最大でも分散補償量は 20 ps/nm と非常に小さいものしか得られない。

【0043】

本発明では、複数のエタロン共振器を貼り合わせて光分散フィルタを構成することで、入射光の実効的な光学パスをさらに長くする。これにより分散補償値をより増大させることができる。しかしながら、単純にエタロン共振器を貼り合わせただけでは広帯域で一定な分散特性を得ることができない。それは波長に対する分散特性と各エタロン共振器間の反射率との間に密接な関係があるからである。

【0044】

本発明においては、複数のエタロン共振器間の各境界面における反射率を変化させ、透過型の光分散フィルタを構成する場合は、厚さ方向における中央近傍の

境界面の反射率を最も高く設定し、両端面に向かって各境界面の反射率が漸次低くなるように設定する。また、反射型の光分散フィルタを構成する場合は、入射面の反射率を最も低く設定し、入射面と反対側の最終端面の反射率を100%に設定し、該最終端面に向かって各境界面の反射率が漸次高くなるように設定する。このように各境界面の反射率を設定することで、複数のエタロン共振器全体で所望の分散特性が得られるようにする。

【0045】

ところで、光分散フィルタを設計する際には、光分散フィルタの極値を所望の値に設計するのが一般的である。例えば、Lenz, "Dispersive Properties of Optical Filters for WDM Systes", IEEE Journal of Quantum Electronics, 1998, No. 34, vol 8, pp.1390-1402に記載されているように、一つのエタロン共振器は一つの極を持つため、本発明のように多層化したエタロン共振器では透過特性が各エタロン共振器の極が重なり合った特性になる。

【0046】

本発明の光分散フィルタにおいては、各エタロン共振器で決定される極の重ね合わせから得られる群遅延時間に対して波長微分した値が分散量となる。また、動作帯域内（通常はFSRの半周期分の帯域内）で一定な分散特性を得るために、FSRの半周期分の帯域内で群遅延特性が線形となるように決定する。そのための一般的な設計方法は、例えば、特開2002-122732号公報の図5に示されている。同公報によれば、極の数が3以上の構成では、FSRの半周期分の帯域内で線形な群遅延特性が得られ、層数を増加させるほど群遅延特性の傾き（すなわち分散値）を大きく設定できる。したがって、本発明の光分散フィルタは3層以上のエタロン共振器を用いて形成するのが好ましい。

【0047】

上記特開2002-122732号公報ではエタロン共振器を用いた反射型の分散補償器について詳細に説明されている。したがって、エタロン共振器を利用した分散補償器において、その極の値（透過特性がピークとなる周波数）を所望の値に設定することは公知である。しかしながら、本発明の光分散フィルタはその極の値をどのように設定するか上記公報と異なる。

【0048】

本発明では、透過型の光分散フィルタを形成する場合、極の値を以下のように設定する。例として、光分散フィルタが3層のエタロン共振器で構成される場合で説明する。

【0049】

上述したように、各エタロン共振器の透過特性はそれぞれの極値に依存する。ここで、各極値を p_1 , p_2 , p_3 と定義し、 p_1 , p_2 , p_3 をFSRの半周期分の帯域内で一定な分散特性となるよう決定する。

【0050】

極からは各エタロン共振器の透過特性の分母が決まるため、エタロン共振器内における入射光の1往復の伝搬定数を z とすると、その分母は、

$$(1 - p_1/z) \cdot (1 - p_2/z) \cdot (1 - p_3/z) \cdots (1)$$

に比例する。

【0051】

また、3層のエタロン共振器（第1のエタロン共振器～第3のエタロン共振器）の各境界面における反射率を r_0 , r_1 , r_2 , r_3 と定義する。但し、 r_0 は第1のエタロン共振器と空気の境界面、 r_1 は第1のエタロン共振器と第2のエタロン共振器の境界面、 r_2 は第2のエタロン共振器と第3のエタロン共振器の境界面、 r_3 は第3のエタロン共振器と空気の境界面の反射率である。

【0052】

このとき、エタロン共振器の透過特性は、Dowling, "Lightwave Lattice Filters for Optically Multiplexed Communication Systems", IEEE Journal of Quantum Electronics, 1994, No. 12, vol 3, pp.471-486の式35によると、その分母は、

$$r_0 \cdot r_3 / z^3 + (r_0 \cdot r_2 + r_1 \cdot r_3 + r_0 \cdot r_1 \cdot r_2 \cdot r_3) / z^2 + (r_0 \cdot r_1 + r_1 \cdot r_2 + r_2 \cdot r_3) / z + 1 \cdots (2)$$

に比例する。

【0053】

式(1)は極から求めた透過特性であり、式(2)は各境界面における反射率

から求めた透過特性であり、これらの分母の形は一致しなければならない。したがって、式(1)と式(2)の係数 z が等しくなるように $r_0 \sim r_3$ を決定すれば本発明で用いる光分散フィルタの構成が決定される。

【0054】

上記係数比較で得られる条件の数はエタロン共振器の層数と一致するが、反射率はエタロン共振器の面の数、すなわち条件の数よりも1つ多くなる。したがって、 $r_0 \sim r_3$ は任意の一つの値を決定することで他の値が決定され、例えば、 $p_1 = 0.1 \times e^{i\pi/6}$ 、 $p_2 = 0.1 \times e^{-i\pi/6}$ 、 $p_3 = 0.25$ の場合、 $r_0 = 0.1\%$ と決めると、 $r_1 = 2\%$ 、 $r_2 = 80\%$ 、 $r_3 = 10\%$ となる。ここで、 r_0 を無反射に近い値に設定すると、 $r_1 \sim r_3$ は光分散フィルタの厚さ方向における中央の境界面の反射率が最も高くなり、両端面に近い境界面ほど反射率が低くなることが分かる。なお、反射率が最も高くなる境界面は、光分散フィルタの中央とは限らず、 r_0 の値によって多少前後する。エタロン共振器の層数が3より多い場合でも、同様に透過特性の分母の係数を比較することで各反射率を求めることができる。

【0055】

さらに、反射型の光分散フィルタも、透過型と同様に、極から求めた透過特性と反射率から求めた透過特性の係数比較を行うことで、各境界面における反射率が決定される。反射型の光分散フィルタでは、入射面が最も低い反射率に設定され、入射面と反対側の最終端面の反射率が100%に設定され、入射面から最終端面に向かって各境界面の反射率が漸次高くなる。

【0056】

本発明の光分散フィルタでは、各エタロン共振器の部分反射層として公知の誘電体薄膜からなる多層膜を用い、ガラスや半導体等から成る基板(光透過層)を該多層膜で挟んだ構成とする。ここで、光分散フィルタを透過型とする場合は、透過パワーが分散特性と同様に周波数に対して周期的な特性を持つため光信号波形が歪むおそれがある。したがって、多層膜の透過パワー特性はできるだけ周波数に対する依存性(波長依存性)が少ないことが望ましい。上述したように、本発明では複数のエタロン共振器における任意の境界面の反射率を所望の値に設定

できるため、光入射面の反射率を高く設定することも可能である。その場合、光分散フィルタの出射面側から戻る光パワーを低減できるため、最終的に光分散フィルタを透過する光の分散特性の周波数依存性を低減できる。ちなみに入射面における光の反射率が50%以上に設定すると、この効果が顕著である。入射面における光の反射率を比較的高く設定した場合、本発明の光分散フィルタの各境界面における反射率は、入射面から出射面に向かって徐々に減少する構成となる。または、入射面から出射面に向かって減少した後、一旦高くなり、その後出射面に向かって再び減少する構成となる。

【0057】

本発明の光分散フィルタは、エタロン共振器の層数を増加させると、分散補償値をより増大させることが可能であり、動作帯域を広げることでもある。但し、エタロン共振器の層数を増加させると、反射面の数が増えるために光の透過パワーが減少する。エタロン共振器の層数は最大でも20程度と考えられるが、透過パワーの減衰量や必要な分散特性を考慮して最適な層数を選択すればよい。

【0058】

なお、本発明の光分散フィルタは、上記式(1)、(2)を利用してエタロン共振器の各境界面の反射率をそれぞれ求めているが、各境界面の反射率は求めた値に厳密に一致させる必要はない。算出値に対して±10%程度の誤差は特性上において許容範囲であり、各境界面の反射率の関係が上記条件を満たしているならば透過特性が大きくずれることはない。

【0059】

また、本発明の光分散フィルタは、上記基板に代わって空気層を用いることも可能である。但し、各エタロン共振器のFSRが等しくなければならないため、各基板の媒質(基板あるいは空気)の屈折率と厚さの積をほぼ等しく設定する。ここで、各媒質の屈折率と厚さとの積は等しいことが望ましいが、厳密に等しくする必要はない。例えば、各基板の厚さを1mmとすると、数～数十ミクロン程度の誤差は影響が無い。

【0060】

また、本発明では各エタロン共振器を接合する方法として接着材(例えば、エ

ポキシ系接着剤)を用いる。この接着材は屈折率が基板の屈折率と同一であることが望ましい。そのような接着材を用いると、接着剤と基板の境界における光の反射が無くなり、接着剤の厚さが各基板毎に数ミクロン程度異なっているとしても、各基板の厚さ(ミリメートルオーダー)に対応するFSRがほぼ等しくなるため、問題となることはない。

【0061】

また、本発明の光分散フィルタでは、入射面または出射面に備える少なくとも一方の多層膜を省略することも可能である。その場合、入射面または出射面の反射率は基板と空気の屈折率差から2%程度になると考えられる。

【0062】

さらに、本発明ではエタロン共振器の共振器長を決定する基板として、ガラスのような誘電体や半導体等の物質を用いるが、増幅回路を備えた半導体基板を形成すれば、透過する光信号を増幅することも可能である。

【0063】

次に本発明の実施例について図面を参照して説明する。

【0064】

(第1実施例)

図1は本発明の光分散フィルタの第1実施例の構成を示す断面図であり、図2は図1に示した多層膜の構成例を示す図であり、同図(a)は単層の薄膜を用いた構成を示す断面図、同図(b)は4層の薄膜を用いた構成を示す断面図、同図(c)は8層の薄膜を用いた構成を示す断面図、同図(d)は12層の薄膜を用いた構成を示す断面図である。なお、図1では光分散フィルタが6層のエタロン共振器から構成される例を示しているが、エタロン共振器の数は6層に限るものではなく、所望の分散特性及び透過率に応じて6層より少なくてもよく(但し、3層以上)、多くてもよい。

【0065】

図1に示すように、第1実施例の光分散フィルタは、第1の基板21～第6の基板26と、第1の基板21～第6の基板26を挟んで交互に配置される第1の多層膜27～第7の多層膜33とを有する構成である。

【0066】

第1の基板21～第6の基板26と第1の多層膜27～第7の多層膜33とはそれぞれ接着材を用いて接合される。接着材には第1の基板21～第6の基板26または第1の多層膜27～第7の多層膜33と屈折率が近い値のものが望ましい。

【0067】

第1の基板21～第6の基板26は、例えば、屈折率が1.5の一般的なガラスを用いて、FSRが100GHzとなるように1mmの厚さで形成される。

【0068】

また、第1の多層膜27～第7の多層膜33は、光の反射率がそれぞれ異なる値に設定され、透過型の光分散フィルタを形成する場合、図1に示す光分散フィルタの厚さ方向における中央近傍の境界面に近い多層膜（図1では第4の多層膜30）ほど高い反射率に設定され、両端面に近い多層膜（図1では第1の多層膜27及び第7の多層膜33）ほど低い反射率に設定される。一方、反射型の光分散フィルタを形成する場合は、入射面の多層膜（図1では第1の多層膜27）が最も反射率が低く、入射面と反対側の最終端面の多層膜（図1では第7の多層膜33）に向かって漸次反射率が高くなるように設定される。

【0069】

図2(a)に示すように、透過型の光分散フィルタを形成する場合、第1の多層膜27及び第7の多層膜33は、例えば、屈折率が1.2の低屈折率ガラス薄膜（第1の薄膜40）を用いて、透過光の薄膜内における波長 λ （ $=1.55\mu\text{m}/\text{屈折率}1.2$ ）の1/4倍の厚さで形成される。本実施例においては、第1の多層膜27により空気と第1の基板21間の反射率が0%に設定され、第7の多層膜33により空気と第7の基板26間の反射率が0%に設定される。

【0070】

本実施例では、第1の多層膜27及び第7の多層膜33が単層の薄膜で形成された例を示すが、2層または3層の薄膜から成る低反射膜を用いることも可能である。その場合、低反射膜が形成できるならば各薄膜層の厚さは透過光の波長 λ の1/4倍に限ることはない。本実施例の透過型の光分散フィルタでは、中央の

境界面に近い多層膜ほど光の反射率が高くなるため、第1の多層膜27及び第7の多層膜33の反射率が第2の多層膜28及び第6の多層膜32の反射率よりも高くならなければ0%に限定する必要はない。例えば、空気と第1の基板21または第6の基板26との界面の反射率は2%となるため、上記反射率の条件を満たすならば第1の多層膜27及び第7の多層膜33は無くてもよい。

【0071】

また、反射型の光分散フィルタを形成する場合は、第1の多層膜27の反射率のみ、例えば0%に設定される。なお、反射型の場合も、透過型と同様に第1の多層膜27の反射率の値は上記値に限定する必要はなく、多層膜の構成も上記反射率の条件を満たすならば何層であってもよい。

【0072】

図2(b)に示すように、透過型の光分散フィルタを形成する場合、第2の多層膜28及び第6の多層膜32は、例えば、4層の薄膜(第1の薄膜41～第4の薄膜44)から成る積層膜を用いて形成される。ここで、第1の薄膜41及び第3の薄膜42には屈折率が1.5のSiO₂(二酸化シリコン)が用いられ、第2の薄膜43及び第4の薄膜44には屈折率が2.8のTiO₂(酸化チタン)が用いられる。このような構成により第2の多層膜28及び第6の多層膜32の屈折率が20%に設定される。

【0073】

本実施例では、第2の多層膜28及び第6の多層膜32の屈折率を20%に設定したが、光分散フィルタの厚さ方向における中央の境界面に近い多層膜ほど光の反射率を高く設定すればよいため、第2の多層膜28及び第6の多層膜32の反射率が第3の多層膜29及び第5の多層膜31の反射率よりも高くならなければ20%に限定する必要はない。また、第2の多層膜28及び第6の多層膜32は、上記反射率の条件を満たすならば4層に限ることはない。さらに、各薄膜の厚さも上記反射率の条件を満たすならば自由に設定できる。

【0074】

一方、反射型の光分散フィルタを形成する場合は、例えば、4層の薄膜を用いて第2の多層膜28の反射率を20%に設定する。反射型の場合も、透過型と同

様に第2の多層膜28の反射率は上記値に限定する必要はなく、多層膜の構成も上記反射率の条件を満たすならば何層であってもよい。

【0075】

図2(c)に示すように、透過型の光分散フィルタを形成する場合、第3の多層膜29及び第5の多層膜31は、8層の薄膜(第1の薄膜45～第8の薄膜52)から成る積層膜を用いて形成される。ここで、第1の薄膜45、第3の薄膜46、第5の薄膜47、及び第7の薄膜48には屈折率が1.5のSiO₂(二酸化シリコン)が用いられ、第2の薄膜49、第4の薄膜50、第6の薄膜51、及び第8の薄膜52には屈折率が2.8のTiO₂(酸化チタン)が用いられる。このような構成により第3の多層膜29及び第5の多層膜31の屈折率が40%に設定される。

【0076】

第3の多層膜29及び第5の多層膜31の反射率も、第4の多層膜30の反射率よりも高くならなければ40%に限定する必要はない。また、第3の多層膜29及び第5の多層膜31は、上記反射率の条件を満たすならば8層に限ることはない。さらに、各薄膜の厚さも上記反射率の条件を満たすならば自由に設定できる。

【0077】

一方、反射型の光分散フィルタを形成する場合は、例えば、8層の薄膜を用いて第3の多層膜29の反射率を40%に設定する。反射型の場合も、透過型と同様に第3の多層膜29及び第5の多層膜31の反射率の値は上記値に限定する必要はなく、多層膜の構成も上記反射率の条件を満たすならば何層であってもよい。

【0078】

図2(d)に示すように、第4の多層膜30は、12層の薄膜(第1の薄膜53～第12の薄膜64)から成る積層膜を用いて形成される。ここで、第1の薄膜53、第3の薄膜54、第5の薄膜55、第7の薄膜56、第9の薄膜57、及び第11の薄膜58には屈折率が1.5のSiO₂(二酸化シリコン)が用いられ、第2の薄膜59、第4の薄膜60、第6の薄膜61、第8の薄膜62、第

10の薄膜63、及び第12の薄膜64には屈折率が2.8のTiO₂（酸化チタン）が用いられる。このような構成により第4の多層膜30の屈折率が80%に設定される。

【0079】

本実施例の透過型の光分散フィルタの構成では、第4の多層膜30が中央の境界面となるため、第4の多層膜30の反射率が最も高く設定できれば、反射率は80%に限定する必要はない。また、第4の多層膜30は上記反射率の条件を満たすならば12層に限ることはない。さらに、各薄膜の厚さも上記反射率の条件を満たすならば自由に設定できる。

【0080】

一方、反射型の光分散フィルタを形成する場合は、例えば、10層の薄膜を用いて第4の多層膜30の反射率を50%に設定する。反射型の場合も、透過型と同様に第4の多層膜30の反射率は上記値に限定する必要はなく、多層膜の構成も上記反射率の条件を満たすならば何層であってもよい。なお、反射型の場合、例えば、第5の多層膜31は10層の薄膜を用いて反射率を60%に設定し、第6の多層膜32は12層の薄膜を用いて反射率を80%に設定し、第7の多層膜33は12層以上の薄膜を用いて反射率を100%に設定する。これらの多層膜も上記反射率の条件を満たすならば層数は限定されるものではなく、各薄膜の厚さも上記反射率の条件を満たすならば自由に設定できる。

【0081】

なお、本実施例では、透過型の光分散フィルタを形成する場合に光分散フィルタの中央の境界面から両端に向かって多層膜による反射率が対称となるように設定しているが、中央近傍の境界面における反射率が最も高くなる条件であれば対称である必要はない。

【0082】

また、本実施例においては、第1の基板21から第6の基板26を同じ屈折率を有するガラスで構成した例を示したが、FSRが等しくなるように各エタロン共振器の屈折率と厚さの積が等しくなる構成であれば、第1の基板21～第6の基板26は異なる材質であってもよい。

【0083】

本実施例では、6層のエタロン共振器から構成される光分散フィルタを示しているが、図3に示すように、エタロン共振器の層数を増加させると、分散補償値をより増大させることが可能であり、動作帯域を広げることできる。上述したように、エタロン共振器の層数を増加させると、反射面の数が増えるために光の透過パワーが減少する。したがって、透過パワーの減衰量や必要な分散特性を考慮して最適な層数を選択する。

【0084】

図4に示すように、本実施例の光分散フィルタは、100GHz毎にピークが現れる群遅延特性を備えている。図4の群遅延特性を波長で微分した値が分散であり、図4に示すグラフの右上がりの特性部分を利用することにより30GHzの範囲で300ps/nmの分散特性が得られる。同様に、右下がりの特性部分を利用することで30GHzの範囲で-300ps/nmの分散特性が得られる。これは、およそ20Kmの光ファイバ内で受ける分散を補償できることを意味する。

【0085】

(第2実施例)

図5は本発明の光分散フィルタの第2実施例の構成を示す断面図である。

【0086】

図5に示すように、第2実施例の光分散フィルタは、複数のエタロン共振器(図5では4個)をそれぞれ離して直列に配置した構成である。

【0087】

エタロン共振器は、第1実施例と同様に、誘電体や半導体から成る基板(第1の基板71～第4の基板74)と、基板を挟むように接合される多層膜(第1の多層膜75～第8の多層膜82)とを有する構成である。

【0088】

基板は、例えば、屈折率が1.5の一般的なガラスを用いて、FSRが100GHzとなるように1mmの厚さで形成される。また、多層膜は、第1実施例と同様にSiO₂(二酸化シリコン)薄膜やTiO₂(酸化チタン)薄膜を積層した

構成である。本実施例では、各エタロン共振器が空気の屈折率1.0に対応してFSRが100GHzとなるように1.5mmの間隔を有して配置される。

【0089】

本実施例の光分散フィルタにおいても、第1実施例と同様に、透過型の場合は、各エタロン共振器の多層膜による反射率を、中央近傍のエタロン共振器で用いる多層膜が最も高く、両端へ向かって低くなるように設定する。具体的には、第1の多層膜75及び第8の多層膜82による光の反射率を0%、第2の多層膜76及び第7の多層膜81による光の反射率を20%、第3の多層膜77及び第6の多層膜80による光の反射率を40%、第4の多層膜78及び第5の多層膜79による光の反射率を80%に設定する。

【0090】

また、反射型の場合は、入射面（図5では第1の多層膜75）の反射率を最も低く（例えば、0%）、入射面と反対側の最終端面（図5では第8の多層膜82）が最も高く（例えば、100%）なるように設定する。

【0091】

なお、本実施例においても、第1実施例と同様に、各多層膜による反射率の関係が上記条件を満たすように設定すれば、反射率の値はどのように設定してもよい。

【0092】

本実施例の透過型の光分散フィルタで実現される分散補償値は400ps/nmであった。これは、およそ25Kmの光ファイバ内で受ける分散を補償できることを意味する。

【0093】

（第3実施例）

図6は本発明の光分散フィルタの第3実施例の構成を示す断面図である。

【0094】

図6に示すように、第3実施例の光分散フィルタは、第2実施例と同様に、複数のエタロン共振器（図6では4個）がそれぞれ離れて直列に配置され、各エタロン共振器間に、空気層の間隔を制御するためのギャップ基板（第1のギャップ

基板131～第3のギャップ基板133)が挿入された構成である。第1のギャップ基板131～第3のギャップ基板133は、それぞれ光が透過しない物質(例えば金属等)を用いて形成される。その他の構成は第2実施例と同様であるため、その説明は省略する。

【0095】

本実施例の光分散フィルタの構成によれば、空気層を構成する各エタロン共振器間の距離をギャップ基板を用いて容易に設定することができる。このような構成は、ギャップ基板として熱膨張率が大きい物質を用いれば、周囲温度を変えて透過特性や分散量を変更する場合に、それらを容易に変更することができる。

【0096】

(第4実施例)

図7は本発明の光分散フィルタの第4実施例の構成を示す断面図である。

【0097】

第4実施例の光分散フィルタは、第1実施例と同様に複数のエタロン共振器を積層した構成(図7では5層)であり、エタロン共振器長を決定する各基板(図7では第1の基板150～第5の基板154)の媒質を変え、それらを接着剤で直接貼り合せた構成である。

【0098】

本実施例では、例えば、第1の基板150及び第5の基板154として光の屈折率が1.5のガラスを用い、第2の基板151及び第4の基板153として光の屈折率が2.0のZnO(酸化亜鉛)を用い、第3の基板152として光の屈折率が2.8のTiO₂(酸化チタン)を用いる。なお、第1の基板150及び第5の基板154と空気との界面には反射率が低いコーティング膜155、156を形成してもよい。

【0099】

一般に、物質の屈折率が変化する境界では光の反射が発生する。したがって、本実施例のように屈折率が異なる複数の基板を用意し、それらを接着すれば各基板間の境界面に多層膜を設ける必要がなくなる。このとき、各基板の境界面における反射率は、第1実施例と同様に、例えば、透過型の光分散フィルタを形成す

る場合は、光分散フィルタの厚さ方向における中央近傍の境界面で反射率が最も高く、両端へ向かって反射率が低くなるように、各基板の屈折率を選択すればよい。また、反射型の光分散フィルタを形成する場合は、光の入射面から反対側の最終端面に向かって反射率が漸次高くなるように各基板の屈折率を選択すればよい。

【0100】

本実施例の光分散フィルタの構成によれば、各エタロン共振器を構成する多層膜が不要になり、多層膜を形成するための材料、及び製造に必要な時間や設備が不要になるため、光分散フィルタのコストを低減できる。

【0101】

(第5実施例)

図8は本発明の光分散フィルタの第5実施例の構成を示す断面図である。

【0102】

第5実施例の光分散フィルタは、第1実施例の光分散フィルタに、該光分散フィルタから出射された光を全反射させるための反射鏡160を追加した構成である。

【0103】

反射鏡160は、出射面との距離×出射面との間の媒質（例えば、空気）の屈折率の値が、エタロン共振器の基板の厚さ×屈折率の $1/2$ となる位置に設置される。

【0104】

このような構成では、光分散フィルタから出射された光信号が光分散フィルタを2度透過する。例えば、図1に示した第1実施例の光分散フィルタでは、光の入射面と反対側の最終端面を全反射にすると、各エタロン共振器内で入射面側へ向かって反射する光と出射面で反射した光とが干渉して分散補償量が低減する。本実施例のように反射鏡を用いて出射面からの光を戻すことで、エタロン共振器の最終端面で全反射させる構成よりも大きな分散補償量を得ることができる。

【0105】

(第6実施例)

図9は本発明の光分散フィルタの第6実施例の構成を示す断面図である。

【0106】

第6実施例の光分散フィルタは、エタロン共振器の基板として半導体を用い、該半導体基板161に、光導波路162と、光信号を増幅するための光増幅回路とを形成した構成である。

【0107】

光増幅回路は、例えば、周知の誘導放出光を利用するものであり、光導波路上の所定の距離毎に複数の回折格子（図9では第1の回折格子163～第5の回折格子167）を形成した構成である。なお、半導体基板161と空気との界面には反射率が低いコーティング膜168、169を形成してもよい。回折格子は格子の周期数が多いほど反射率が高くなるため、光導波路162の中央近傍の回折格子（図9では第3の回折格子165）の反射率を最も高く設定し、両端面側の回折格子の反射率ほど低くなるように設定すれば透過型の光分散フィルタとなる。また、光入射面側の第1の回折格子163の周期数を最も少なく設定し、第5の回折格子167の周期数を最も多くなるように設定し、入射面と反対側の最終端面に設ける多層膜の反射率を高反射率（例えば、100%）に設定すれば、反射型の光分散フィルタとなる。

【0108】

本実施例の光分散フィルタによれば、エタロン共振器の基板として屈折率が約3.5の半導体を用いるため、屈折率が1.5のガラスを用いる構成よりも素子長を短く形成できる。また、光の増幅機能を有しているため光ファイバとの結合損を補償できる。

【0109】

（第7実施例）

第7実施例では、第1実施例～第6実施例で記載した光分散フィルタのうち、透過型の光分散フィルタを用いた光モジュールを提案する。

【0110】

図10は本発明の透過型の光分散フィルタを用いた光モジュールの一構成例を示す断面図である。

【0111】

図10に示すように、本実施例の光モジュール1は、第1実施例～第6実施例で記載した透過型の光分散フィルタ3を内蔵した構成であり、該光分散フィルタ3を光ファイバ4による分散を補償するための分散補償器として用いる。

【0112】

光モジュールが光信号を送信する送信モジュールの場合、光モジュール1は、光源である光能動素子2を備え、光能動素子2から出射された光に対して本発明の光分散フィルタ3を用いて光ファイバ4による分散と逆の分散を与えた後、光ファイバ4内に導入する。

【0113】

また、光モジュールが光信号を受信する受信モジュールの場合、光モジュール1は、受光素子である光能動素子2を備え、光ファイバ4を通して伝送された光信号に対して本発明の光分散フィルタ3を用いて光ファイバ4で受けた分散と逆の分散を与えた後、光能動素子2へ導入する。

【0114】

本実施例の光モジュールでは、光分散フィルタ3が透過型のため、光ファイバ4と光能動素子2とを結ぶ光軸上に光分散フィルタ3が配置される。

【0115】

なお、図10に示した光モジュール1には、光源または受光素子である光能動素子2と光分散フィルタ3のみ記載しているが、光能動素子2から出射された光を光分散フィルタ3に集光するためのレンズや光分散フィルタ3を透過した光を光ファイバ4のコア内に集光するためのレンズを備えていてもよい。または、光ファイバ4から出射された光を光分散フィルタ3に集光するためのレンズや光分散フィルタ3を透過した光を光能動素子2に集光するためのレンズを備えていてもよい。さらに、光分散フィルタ3からの反射光が光源に戻って発振を擾乱させるのを防止するため、光源と光分散フィルタ3との間に光アイソレータを備えていてもよい。

【0116】

本発明の光分散フィルタは、従来の分散補償器に比べて小型に形成できるため

、例えば、光源である直接変調型の半導体レーザや外部変調型の半導体レーザ等を含む光モジュールに内蔵することが可能になる。したがって、光ファイバで受ける分散を補償する分散特性を光モジュール内で与えることができるため、光モジュールの外部に大規模な分散補償器を設けることなく、光ファイバを用いた光通信システムの伝送距離が拡大できる。

【0117】

(第8実施例)

第8実施例では、第1実施例～第6実施例で記載した光分散フィルタのうち、反射型の光分散フィルタを用いた光モジュールを提案する。

【0118】

図11は本発明の反射型の光分散フィルタを用いた光モジュールの一構成例を示す断面図である。

【0119】

図11に示すように、本実施例の光モジュール11は、第1実施例～第6実施例で記載した反射型の光分散フィルタ13を内蔵した構成であり、該光分散フィルタ13を光ファイバ14による分散を補償するための分散補償器として用いる。

【0120】

光モジュールが光信号を送信する送信モジュールの場合、光モジュール11は、光源である光能動素子12を備え、光能動素子12から出射された光に対して本発明の光分散フィルタ13を用いて光ファイバ14による分散と逆の分散を与えた後、光ファイバ14内に導入する。

【0121】

また、光モジュールが光信号を受信する受信モジュールの場合、光モジュール11は、受光素子である光能動素子12を備え、光ファイバ14を通して伝送された光信号に対して本発明の光分散フィルタ13を用いて光ファイバ14で受けた分散と逆の分散を与えた後、光能動素子12へ導入する。

【0122】

本実施例の光モジュールでは、光分散フィルタ13が反射型のため、光ファイ

バ14と光分散フィルタ13とを結ぶ光軸上からずれた位置に光能動素子12を配置する。このような位置に光能動素子12を配置することで、入射光または出射光の光路を変更するための素子（サーキュレータ）が不要になるため、光モジュールの規模が増大するのを防止できる。

【0123】

なお、本実施例の光モジュールにおいても、光能動素子12から出射された光を光分散フィルタ13に集光するためのレンズや光分散フィルタ13で反射した光を光ファイバ14のコア内に集光するためのレンズを備えていてもよい。または、光ファイバ14から出射された光を光分散フィルタ13に集光するためのレンズや光分散フィルタ13で反射した光を光能動素子12に集光するためのレンズを備えていてもよい。さらに、光分散フィルタ13からの反射光が光源に戻って発振を擾乱させるのを防止するため、光源と光分散フィルタ13との間に光アイソレータを備えていてもよい。

【0124】

本実施例の光モジュールは、第7実施例と同様に、例えば光源である直接変調型の半導体レーザや外部変調型の半導体レーザ等を含む光モジュールに内蔵することが可能になる。したがって、光ファイバで受ける分散を補償する分散特性を光モジュール内で与えることができるため、光モジュールの外部に大規模な分散補償器を設けることなく、光ファイバを用いた光通信システムの伝送距離が拡大できる。

【0125】

（第9実施例）

第9実施例では、第1実施例～第6実施例で記載した光分散フィルタのうち、反射型の光分散フィルタを用いた光モジュールの他の構成例を提案する。

【0126】

図12は本発明の反射型の光分散フィルタを用いた光モジュールの他の構成例を示す断面図である。

【0127】

図12に示すように、本実施例の光モジュール100は、第1実施例～第6実

施例で記載した反射型の光分散フィルタ102を内蔵した構成であり、該光分散フィルタ102を光ファイバ104による分散を補償するための分散補償器として用いる。

【0128】

光モジュールが光信号を送信する送信モジュールの場合、光モジュール100は、光源である光能動素子101を備え、光能動素子101から出射された光に対して本発明の光分散フィルタ102を用いて光ファイバ104による分散と逆の分散を与えた後、光ファイバ104内に導入する。

【0129】

また、光モジュールが光信号を受信する受信モジュールの場合、光モジュール100は、受光素子である光能動素子101を備え、光ファイバ104を通して伝送された光信号に対して本発明の光分散フィルタ102を用いて光ファイバ104で受けた分散と逆の分散を与えた後、光能動素子101へ導入する。

【0130】

さらに、本実施例の光モジュール100は、光ファイバ104と光分散フィルタ102とを結ぶ光軸上に配置されたハーフミラー103を備え、光能動素子101はハーフミラー103の反射光の光軸上に配置される。

【0131】

このような構成では、ハーフミラー103を光信号が2回通過するため、光能動素子101から出射された光あるいは光ファイバ104を介して受光した光のパワーが1/4に低減する。

【0132】

しかしながら、ハーフミラー103はサーキュレータ等と異なって光モジュール100内に収納可能な程度に小型であるため、光源である直接変調型の半導体レーザや外部変調型の半導体レーザ等を含む光モジュールに内蔵することが可能になる。したがって、第7、第8実施例と同様に、光ファイバで受ける分散を補償する分散特性を光モジュール内で与えることができるため、光モジュールの外部に大規模な分散補償器を設けることなく、光ファイバを用いた光通信システムの伝送距離が拡大できる。

【0133】

(第10実施例)

第10実施例は、第7実施例～第9実施例で示した光モジュールの変形例である。

【0134】

図13は本発明の光分散フィルタを用いた光モジュールの第1変形例を示す断面図である。

【0135】

図13に示すように、第10実施例は、第7実施例～第9実施例で示した光モジュール内に光能動素子の温度を制御するための第1の温度制御装置93と、光分散フィルタの温度を制御するための第2の温度制御装置94とを有する構成である。第1の温度制御装置93及び第2の温度制御装置94は、例えば、不図示のヒータ、該ヒータに電流を供給する電流源、光能動素子及び光分散フィルタの温度を検出する温度センサー、及び温度センサーの検出値にしたがってヒータに供給する電流をON/OFFするコントローラを有する構成である。

【0136】

なお、図12は、第7実施例で示した透過型の光分散フィルタを有する光モジュールを例にした構成を示しているが、第8、第9実施例のように反射型の光分散フィルタを有する構成も本実施例は適用できる。

【0137】

一般に、光能動素子に対応する波長の温度変化率は約 $0.08\text{ nm}/^{\circ}\text{C}$ であり、光分散フィルタの温度変化率は $0.01\text{ nm}/^{\circ}\text{C}$ である。したがって、第1の温度制御装置93及び第2の温度制御装置94を用いて光能動素子及び光分散フィルタの温度を独立に制御することで、それぞれを所望の特性に変更することができる。なお、光分散フィルタは温度が変わると波長と共に分散量も変化する。この分散の変化量は光分散フィルタで用いる媒質や層数等によって異なるため、最適な値になるように設計すればよい。

【0138】

(第11実施例)

第11実施例は、上記第7実施例～第10実施例で記載した光モジュールの他の変形例である。

【0139】

図14は本発明の光分散フィルタを用いた光モジュールの第2変形例を示す断面図である。

【0140】

図14に示すように、第11実施例は、第7実施例～第10実施例で示した本発明の光分散フィルタを内蔵する光モジュール110から光ファイバの取り外しを可能にした構成である。光ファイバの取り付け部には、例えば光コネクタ113が固定される。なお、図14は、第7実施例で示した透過型の光分散フィルタを有する光モジュールを例にした構成を示しているが、第8、第9実施例のように反射型の光分散フィルタを有する構成、及び第10実施例のように第1、第2の温度制御装置を有する構成も本実施例は適用できる。

【0141】

このような構成では、光モジュール110のコストを低減できるため、ローエンド向けに用いて好適な光モジュールを得ることができる。

【0142】

(第12実施例)

第12実施例では、第1実施例～第6実施例で記載した光分散フィルタを応用した光分散測定器を提案する。

【0143】

図15は本発明の光分散フィルタを用いた光分散測定器の一構成例を示すブロック図である。

【0144】

図15に示すように、第12実施例は光分散フィルタを用いて分散量を測定するための光分散測定器である。

【0145】

光分散測定器は、光信号を分割する光分波器124と、光分波器124で分波された一方の光信号が通過する光分散フィルタ121と、光分散フィルタ121

を通過した光信号に対応した電気信号を出力する第1の光受信器122と、光分波器124で分波された他方の光信号に対応した電気信号を出力する第2の光受信器123と、第1の光受信器122及び第2の光受信器123から出力される信号の差を出力する信号差分回路125とを有する構成である。

【0146】

このような構成では、信号差分回路125の出力値が光分散フィルタ121による分散値に比例するため、光分散フィルタ121の分散量を得ることができる。また、予め光分散フィルタ121の分散量が分かっている場合は、その分散量との差から光分散測定器に入力した光信号の分散量を測定することができる。

【0147】

(第13実施例)

第13実施例では、第1実施例～第6実施例で記載した光分散フィルタを応用した通信チャネル抽出装置を提案する。

【0148】

図16は本発明の光分散フィルタを用いた通信チャネル抽出装置の効果を示す波形図である。

【0149】

一般に、WDM光通信システムにおける各通信チャネルの周波数間隔は、50GHz、100GHz等で規格化されている。

【0150】

上述したように、本発明の透過型の光分散フィルタはFSR周期毎に光が最も透過する波長領域がある。したがって、本発明の光分散フィルタのFSRを、WDM光通信システムのチャネル間隔>光分散フィルタのFSRに設定することで、光分散フィルタを透過したWDM光通信システムの通信チャネルを選択する通信チャネル抽出装置として用いることができる。

【0151】

具体的には、光分散フィルタのFSRを、例えば60GHz、120GHzのようにチャネル間隔よりも1～2割程度広げる。このとき、第10実施例で示した温度制御装置を用いて光分散フィルタの温度を変化させれば、光分散フィルタ

のFSRが変化するため、WDM光通信システムが有する複数の通信チャネルから、所望の通信チャネルの光信号のみを抽出することが可能になる。

【0152】

【発明の効果】

本発明は以上説明したように構成されているので、以下に記載する効果を奏する。

【0153】

本発明の光分散フィルタは、屈折率と厚さの積の値がそれぞれ等しい、光が透過する3つ以上の光透過層と、光透過層と交互に配置される、所定の反射率を持つ複数の部分反射層とを有する構成、または屈折率と厚さの積の値がそれぞれ等しい、光が透過する光透過層と、該光透過層の2つの面にそれぞれ接合された、所定の反射率を持つ部分反射層とを備えた複数のエタロン共振器を有し、該エタロン共振器を、空気の屈折率と該エタロン共振器の間隔の積の値が、光透過層の屈折率と厚さの積の値と等しくなるように直列に配置した構成とすることで、実効的な光学パスを長くすることができるため、波長による透過時間差（分散）を大きくすることができる。したがって、小型ながらも分散補償量が大きな分散補償器を得ることができる。

【0154】

一方、本発明の光モジュールは、光能動素子と光ファイバとを結ぶ光軸上に配置される、光ファイバで受ける分散を補償するための上記透過型の光分散フィルタを有する構成、または光ファイバで受ける分散を補償するための上記反射型の光分散フィルタと、光ファイバと光分散フィルタとを結ぶ光軸を避けた位置に配置される、光通信で用いられる光能動素子とを有する構成にすることで、光信号の送信側、または受信側で光信号に光分散フィルタを用いて所望の分散特性を与えることができるため、光モジュールの外部に大規模な分散補償器を設けることなく、光ファイバを用いた光通信システムの伝送距離が拡大できる。したがって、光通信システムの小規模化、コストダウンが可能である。

【0155】

また、光信号の送信側、または受信側の光モジュールに光分散補償器となる光

分散フィルタを内蔵できるため、光結合損が最小限で済むため、従来の分散補償器のように光パワーを無駄に損失することがない。

【0156】

また、上記光分散フィルタは、光透過層の厚さ（共振器長）によって所定の周波数間隔（FSR）で同様の透過特性が繰り返されるため、FSRを通信チャンネル間隔に等しく設定すれば、WDM通信システムのように通信チャンネル間隔が等しい複数の光信号に対して同時に分散補償を行うことができる。

【0157】

特に本発明の反射型の光分散フィルタを備えた光モジュールは、光能動素子を光ファイバと光分散フィルタとを結ぶ光軸を避けた位置に配置するため、サーキュレータ等が不要になり、光学系の構成が簡易になるため、光通信システムの規模の拡大が防止される。

【図面の簡単な説明】

【図1】

本発明の光分散フィルタの第1実施例の構成を示す断面図である。

【図2】

図1に示した多層膜の構成例を示す図であり、同図（a）は単層の薄膜を用いた構成を示す断面図、同図（b）は4層の薄膜を用いた構成を示す断面図、同図（c）は8層の薄膜を用いた構成を示す断面図、同図（d）は12層の薄膜を用いた構成を示す断面図である。

【図3】

図1に示した光分散フィルタのエタロン共振器層数に対する分散量及び動作帯域を示すグラフである。

【図4】

図1に示した光分散フィルタの群遅延特性を示すグラフである。

【図5】

本発明の光分散フィルタの第2実施例の構成を示す断面図である。

【図6】

本発明の光分散フィルタの第3実施例の構成を示す断面図である。

【図7】

本発明の光分散フィルタの第4実施例の構成を示す断面図である。

【図8】

本発明の光分散フィルタの第5実施例の構成を示す断面図である。

【図9】

本発明の光分散フィルタの第6実施例の構成を示す断面図である。

【図10】

本発明の透過型の光分散フィルタを用いた光モジュールの一構成例を示す断面図である。

【図11】

本発明の反射型の光分散フィルタを用いた光モジュールの一構成例を示す断面図である。

【図12】

本発明の反射型の光分散フィルタを用いた光モジュールの他の構成例を示す断面図である。

【図13】

本発明の光分散フィルタを用いた光モジュールの第1変形例を示す断面図である。

【図14】

本発明の光分散フィルタを用いた光モジュールの第2変形例を示す断面図である。

【図15】

本発明の光分散フィルタを用いた光分散測定器の一構成例を示すブロック図である。

【図16】

本発明の光分散フィルタを用いたチャネル抽出方法の効果を示す波形図である。

【符号の説明】

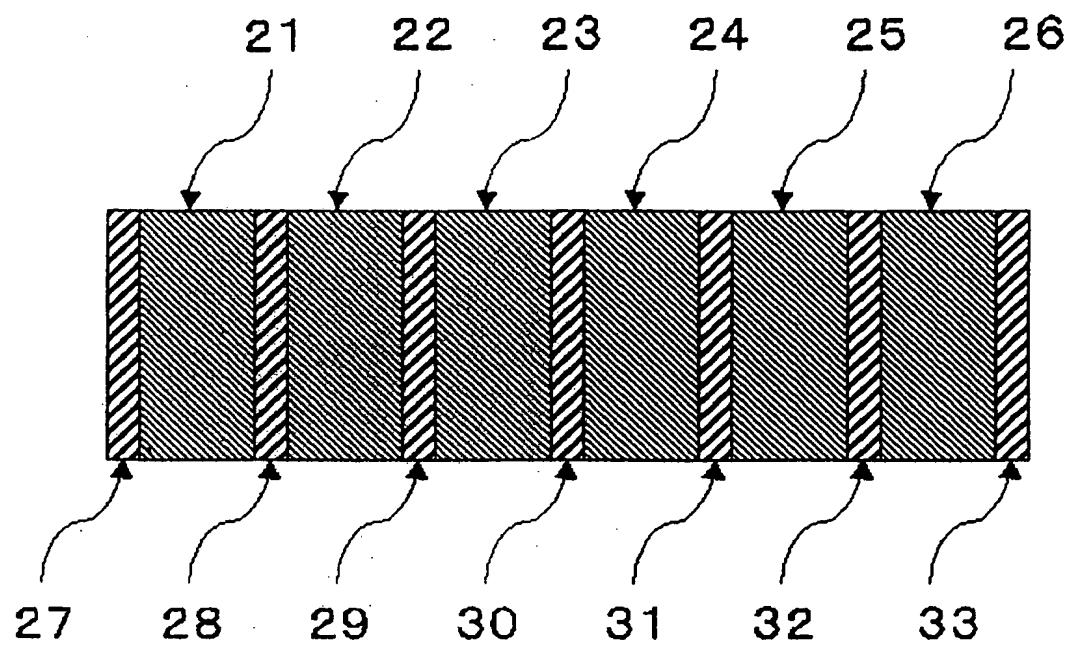
1、11、100、110 光モジュール

2、12、101 光能動素子
3、13、102、121 光分散フィルタ
4、14、104 光ファイバ
21、71、150 第1の基板
22、72、151 第2の基板
23、73、152 第3の基板
24、74、153 第4の基板
25、154 第5の基板
26 第6の基板
27、75 第1の多層膜
28、76 第2の多層膜
29、77 第3の多層膜
30、78 第4の多層膜
31、79 第5の多層膜
32、80 第6の多層膜
33、81 第7の多層膜
82 第8の多層膜
40、41、45、53 第1の薄膜
43、49、59 第2の薄膜
42、46、54 第3の薄膜
44、50、60 第4の薄膜
47、55 第5の薄膜
51、61 第6の薄膜
48、56 第7の薄膜
52、62 第8の薄膜
57 第9の薄膜
63 第10の薄膜
58 第11の薄膜
64 第11の薄膜

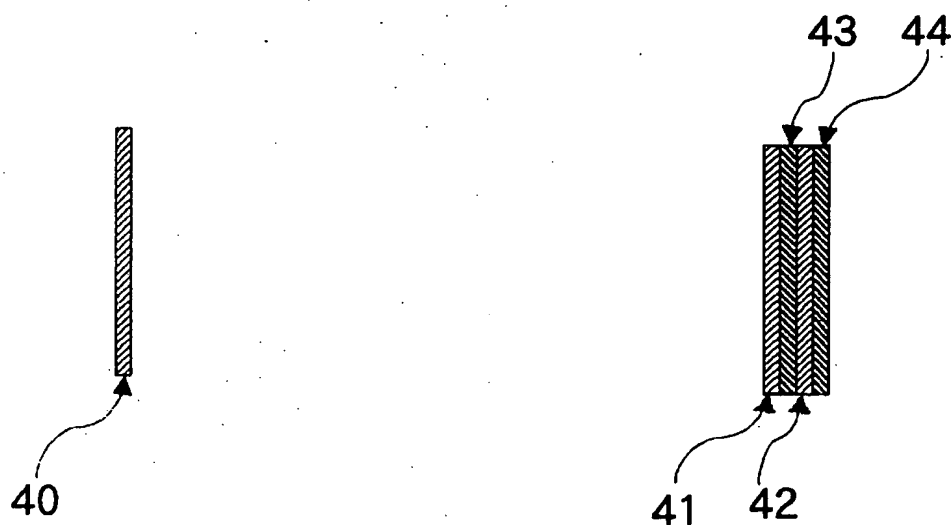
-
- 9 3 第1の温度制御装置
 - 9 4 第2の温度制御装置
 - 1 0 3 ハーフミラー
 - 1 1 3 光コネクタ
 - 1 2 2 第1の光受信器
 - 1 2 3 第2の光受信器
 - 1 2 4 光分波器
 - 1 2 5 信号差分回路
 - 1 3 1 第1のギャップ基板
 - 1 3 2 第2のギャップ基板
 - 1 3 3 第3のギャップ基板
 - 1 3 4 第4のギャップ基板
 - 1 5 5、1 5 6、1 6 8、1 6 9 コーティング膜
 - 1 6 0 反射鏡
 - 1 6 1 半導体基板
 - 1 6 2 光導波路
 - 1 6 3 第1の回折格子
 - 1 6 4 第2の回折格子
 - 1 6 5 第3の回折格子
 - 1 6 6 第4の回折格子
 - 1 6 7 第5の回折格子

【書類名】 図面

【図1】

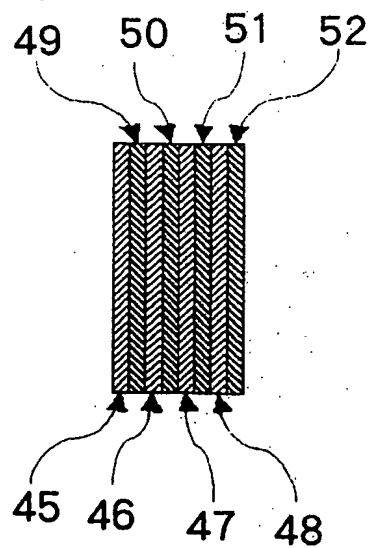


【図2】

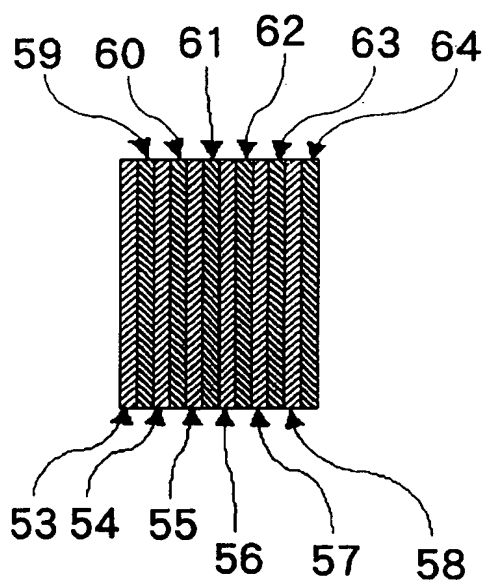


(a)

(b)

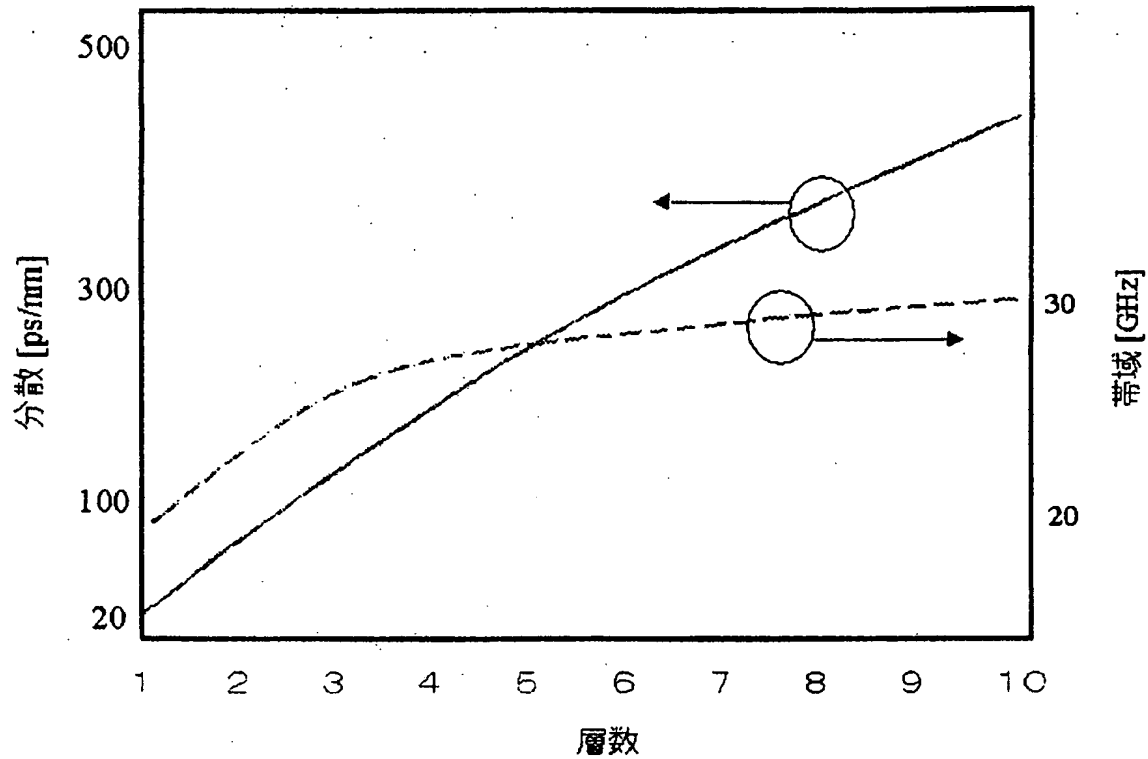


(c)

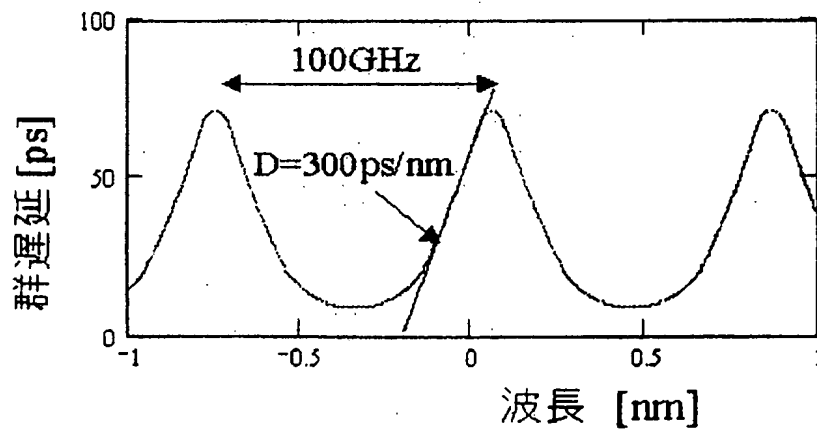


(d)

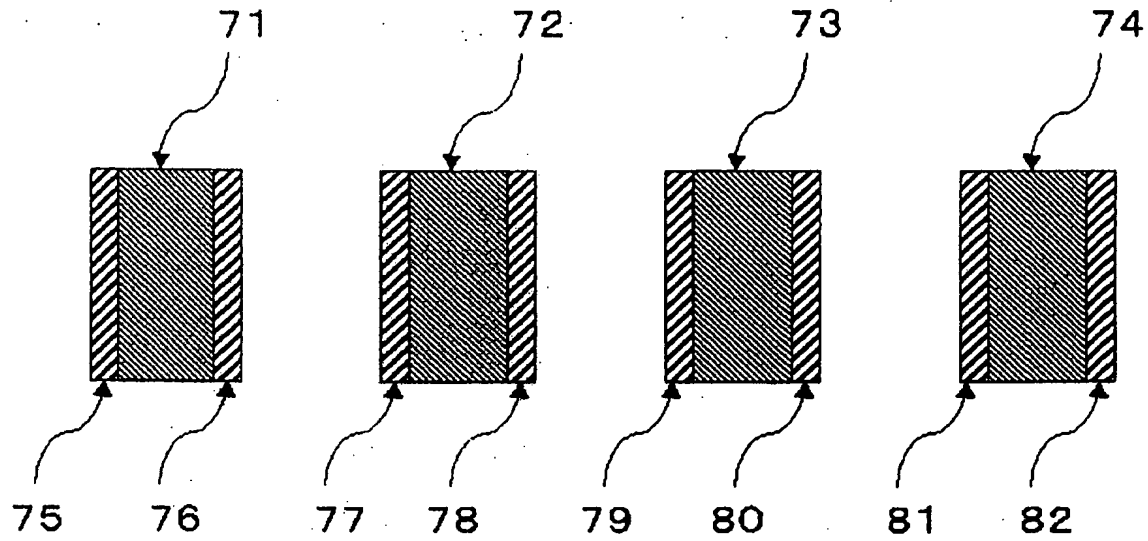
【図3】



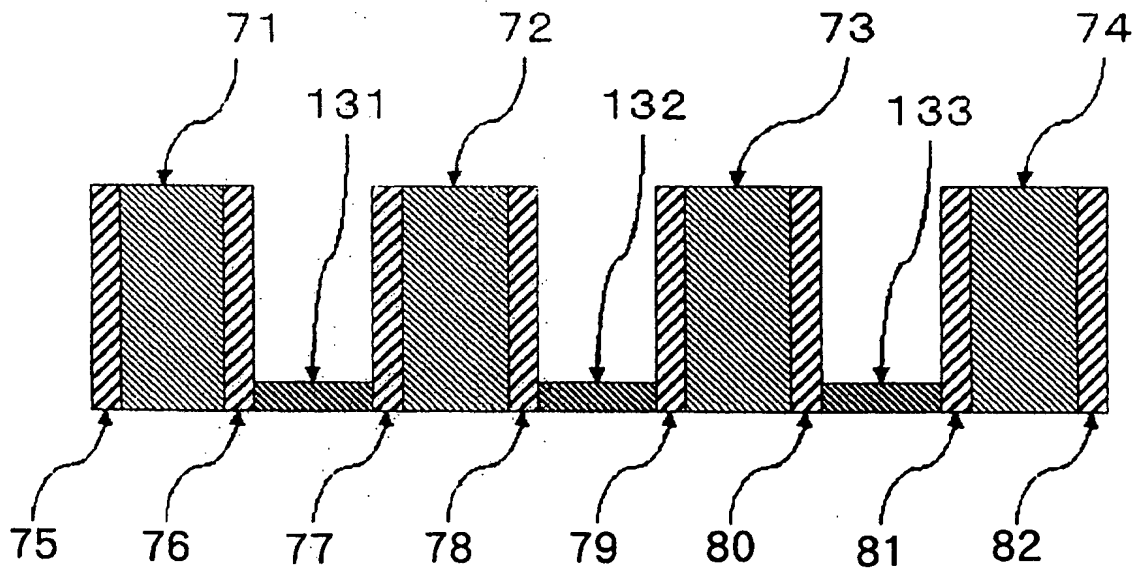
【図4】



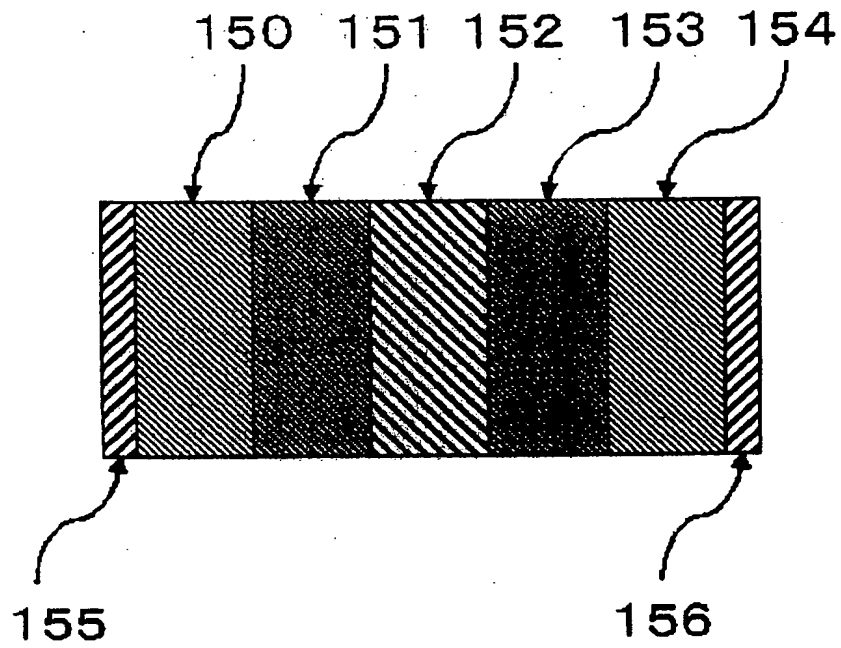
【図5】



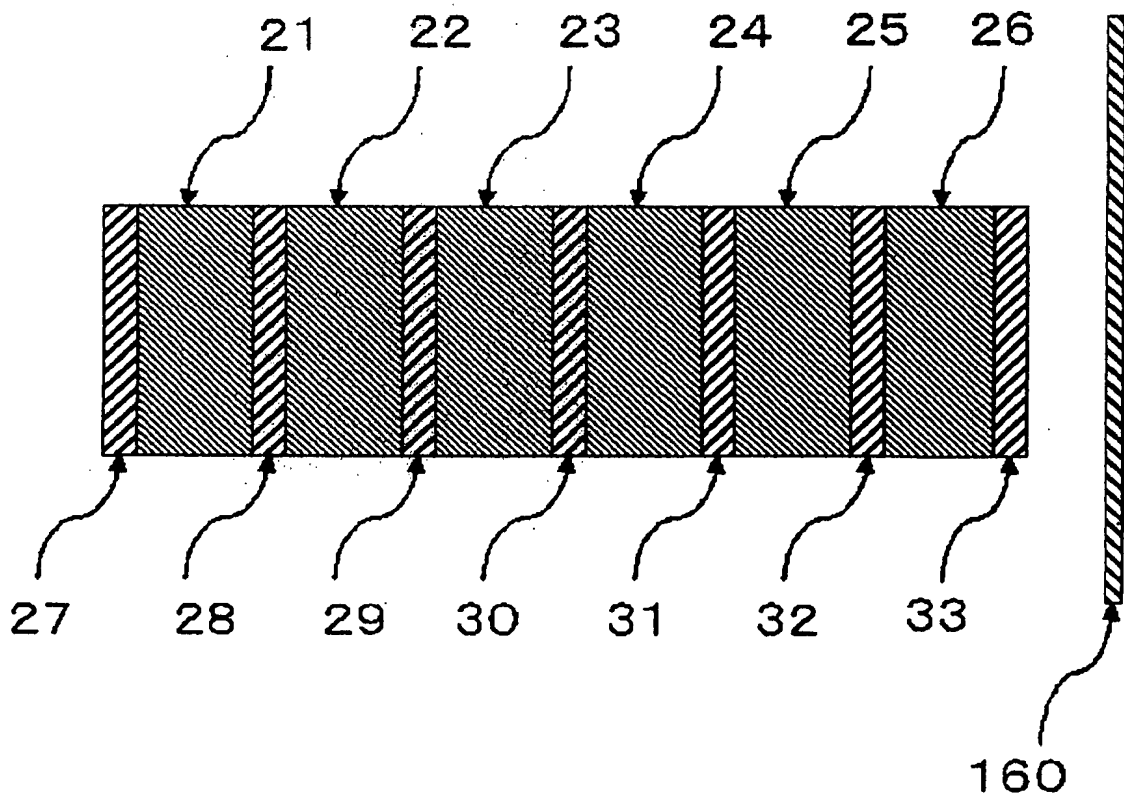
【図6】



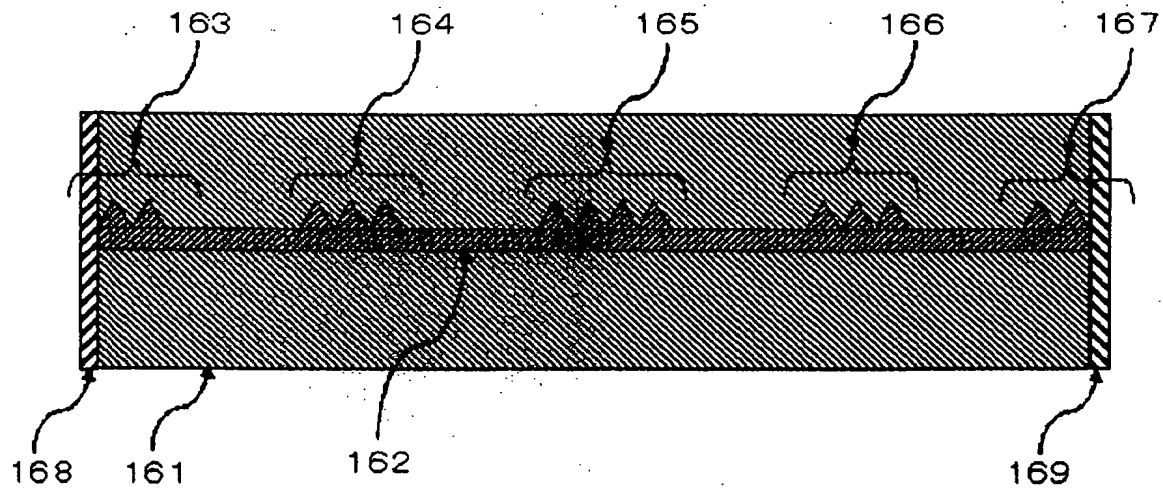
【図7】



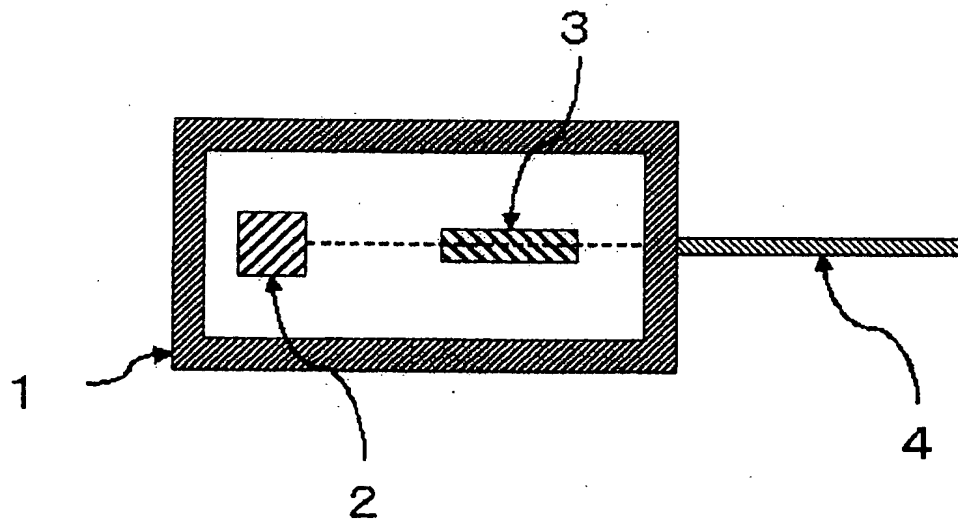
【図8】



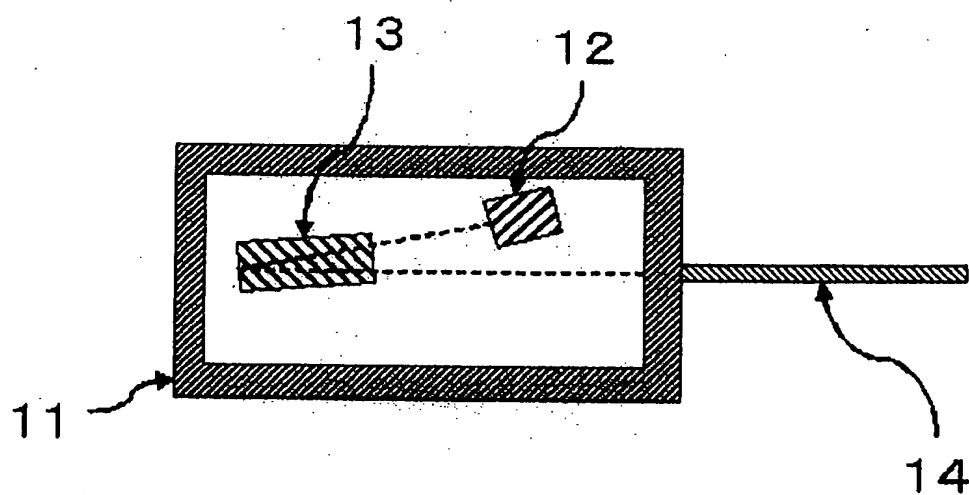
【図9】



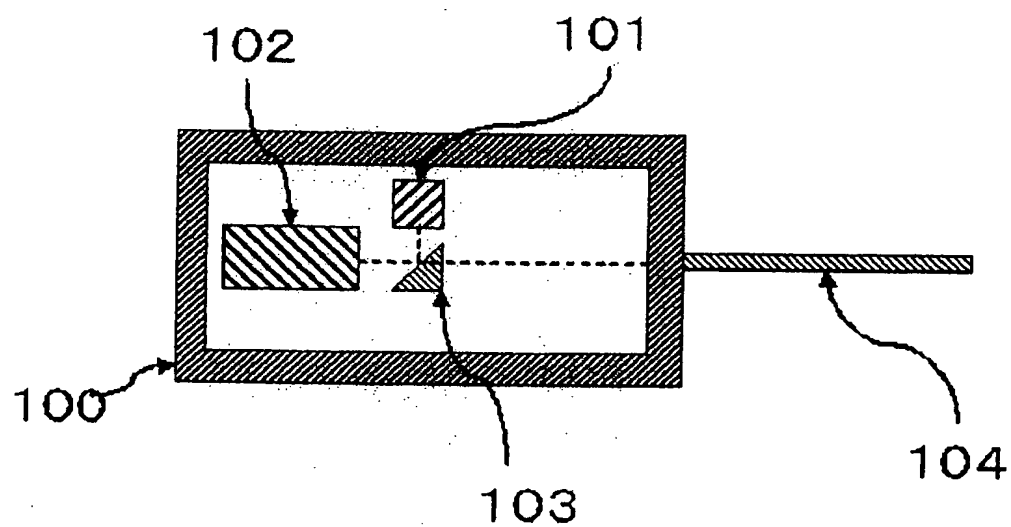
【図10】



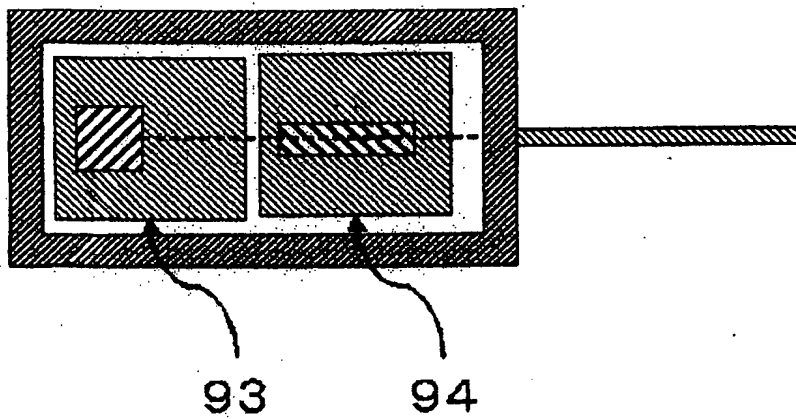
【図11】



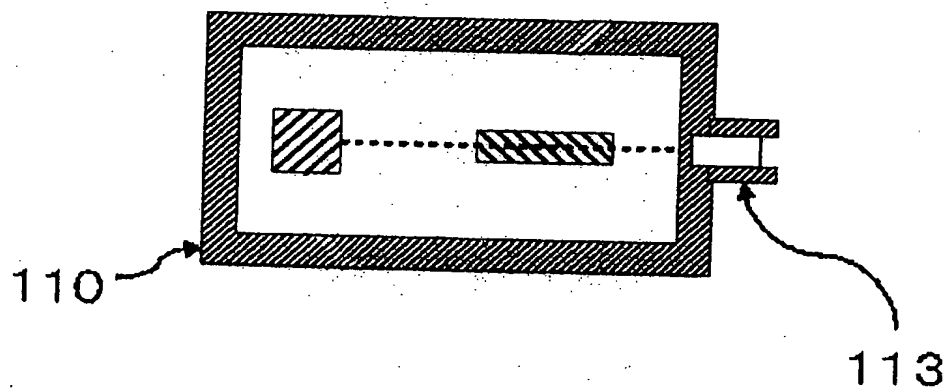
【図12】



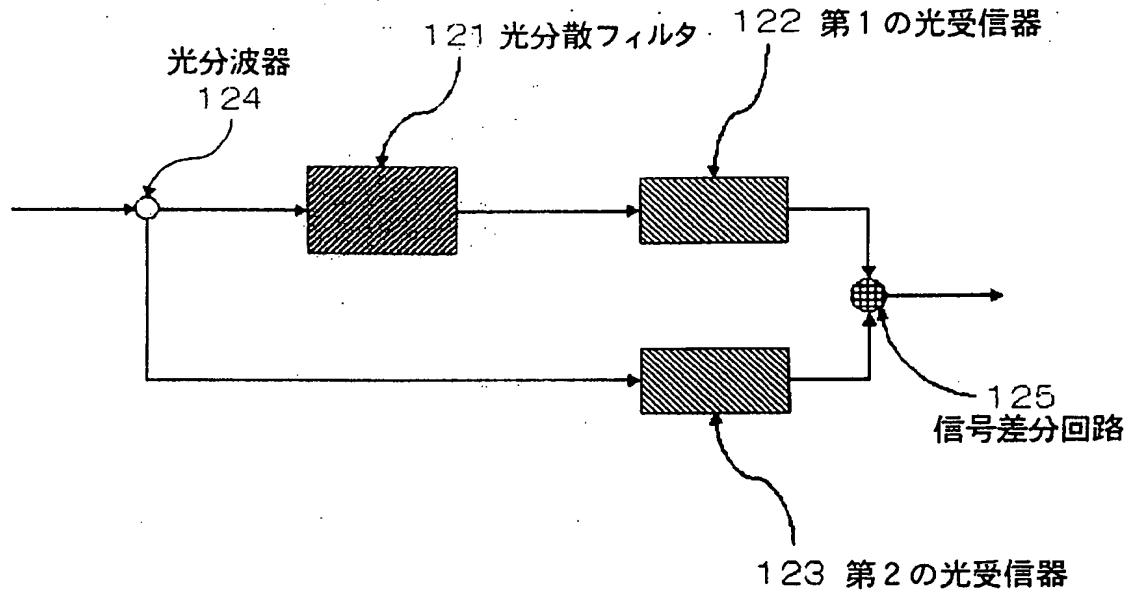
【図13】



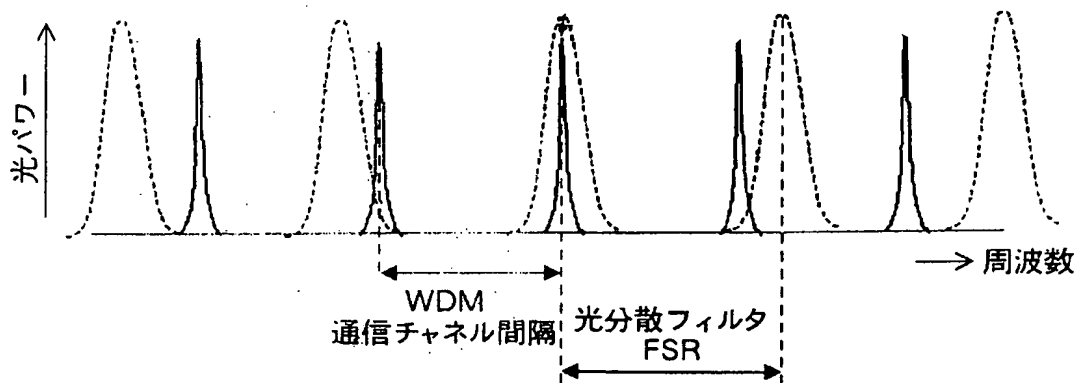
【図14】



【図15】



【図16】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 小型化、低消費電力化、低コスト化を実現しつつ、伝送路の長距離化を実現する分散補償器となる光分散フィルタを提供する。

【解決手段】 屈折率と厚さの積の値がそれぞれ等しい、光が透過する3つ以上の光透過層と、光透過層と交互に配置される、所定の反射率を持つ複数の部分反射層とを有する構成、または屈折率と厚さの積の値がそれぞれ等しい、光が透過する光透過層と、該光透過層の2つの面にそれぞれ接合された、所定の反射率を持つ部分反射層とを備えた複数のエタロン共振器を有し、該エタロン共振器は、空気の屈折率と該エタロン共振器の間隔の積の値が、光透過層の屈折率と厚さの積の値と等しくなるように直列に配置された構成とする。

【選択図】 図1